ВОЗАЧ-ВОЗИЛО-ОКОЛИНА

Систем В-В-О

- ✓ кибернетички систем који утиче на безбедност и ефикасност путног саобраћаја

  возач врши функцију управљања

  возило је објект управљања

  околина је извор информација за дефинисање стања система

- ✓ на основу информација о путу и субјективне процене спољних околности, возач управља возилом => једновремено уважавање законитости понашања возача, карактеристика возила и пута

Затворени кибернетички систем В-В-О

- ✓ идеализација елемената система приликом пројектовања => отворени кибернетички систем

  нпр.

  возно-динамичке анализе за прорачун потрошње горива без утицаја возача

  анализа коефицијента трења-услови околине се дефинишу као мокар, раван и чист коловоз

  безбедност саобраћаја и димензионисање граничних елемената плана и профила-усамљено возило на путу

  анализа нивоа услуге и пропусне моћи-утицај саобраћајног тока

Психо-физички чиниоци возача

- исправан пројектантски приступ подразумева доношење закључака о томе како возач доживљава пут и како усклађује понашање при битно различитим условима вожње (усамљено возило/ вожња у колони)

- три битна фактора:
  видно поље возача
  реакција возача на појаву изненадне сметње
  граничне вредности физиолошких надражаја

- ✓ видно поље-простор који се може сагледати једним усмереним погледом

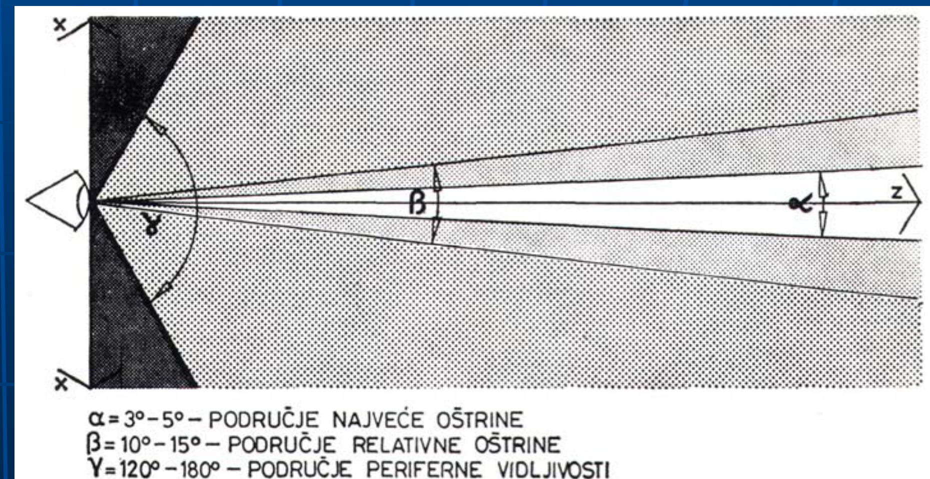
  границе су одређене ширином и дубином и мењају се при кретању возила

  основна ограничења потичу од могућности људског ока

  чулна и емоционална осетљивост возача зависе од квалитета садржаја видног поља и оштрине

  периферно и изоштрено подручје видљивости

  зона релативне оштрине-нема непосредан утицај на визуелне утиске возача



Ширина видног поља у хоризонталној равни за статичко стање

зона периферне видљивости-узгредно опажање догађаја и предмета, маркантни детаљи у широј зони пута и процена брзине према њиховој промени у видном пољу

зона изоштрене видљивости-визура усмерена на одређену даљину у правцу кретања, јасно уочавање само узаног дела коловоза на позицији жижне даљине ока

дубина акомодације има највећи значај за безбедност саобраћаја

$$L_a = t_a \cdot V \quad [m]$$

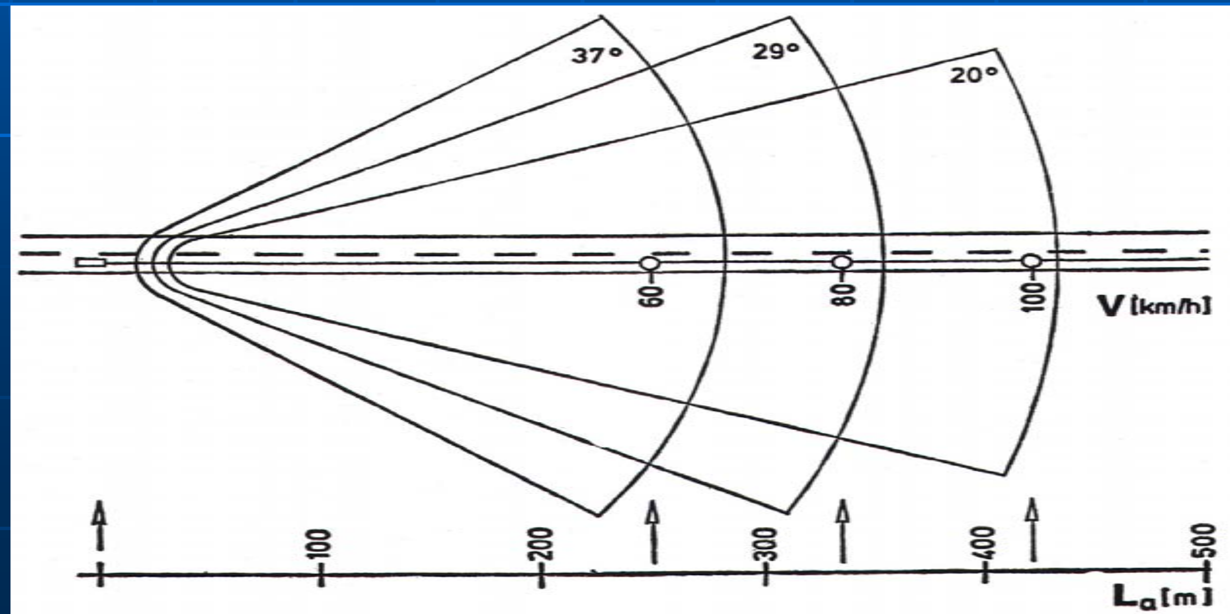
t_a - временско растојање возила од тачке на коју је подешена жижна даљина возача [s], обично 12-14 s

V - брзина вожње у слободном току [km/h]

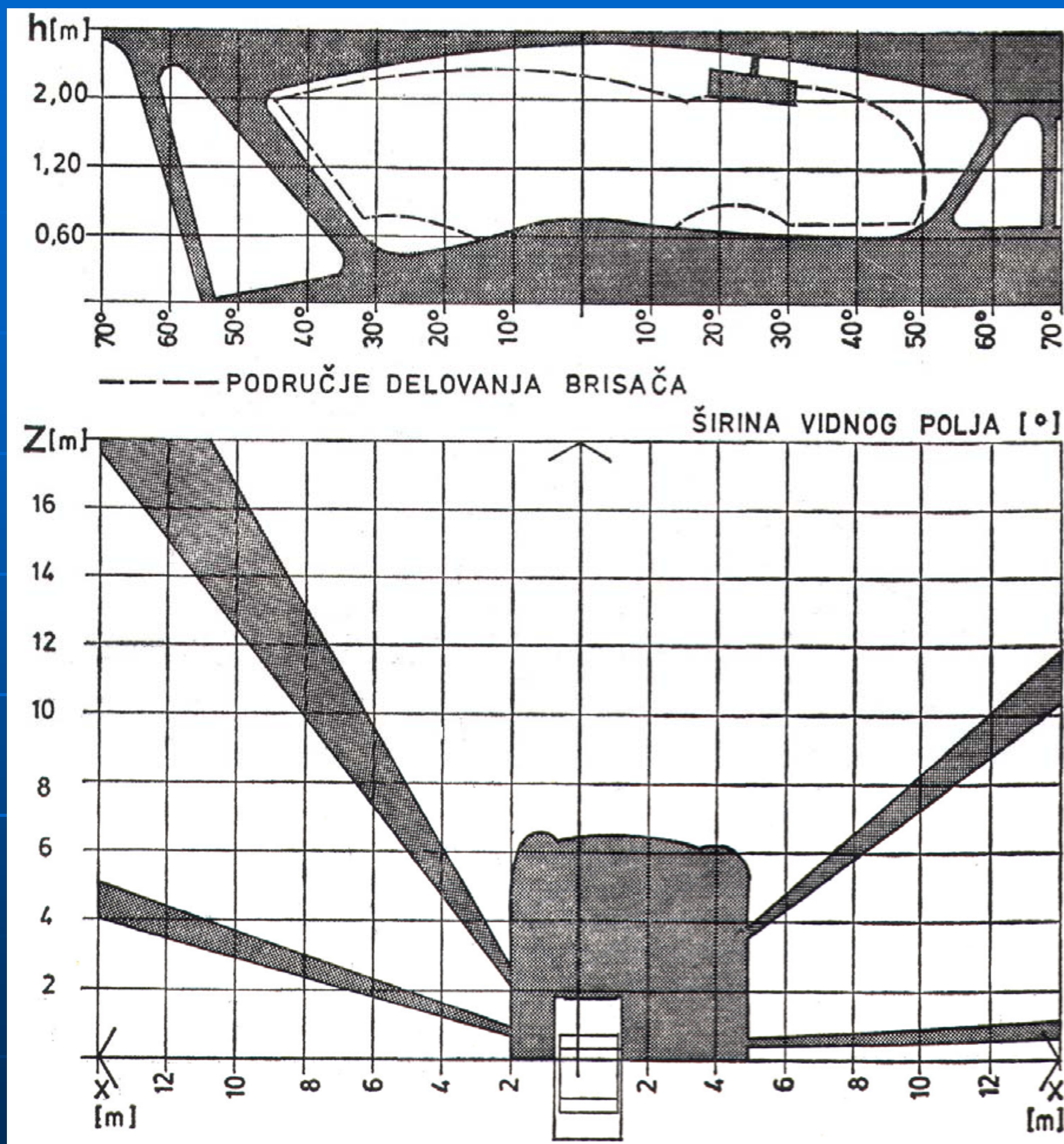
за слободне услове вожње, приближно 4V, скоро двоструко више од дужине зауставног пута за V=100 km/h => возач сам подешава визуру оштре прегледности тако да има резерву за доношење одлуке и њено безбедно провођење, у складу са чулима и односом возило-пут

крајња дубина видног поља при којој се може разазнати контура возила на путу је од 1,5 до 2 km

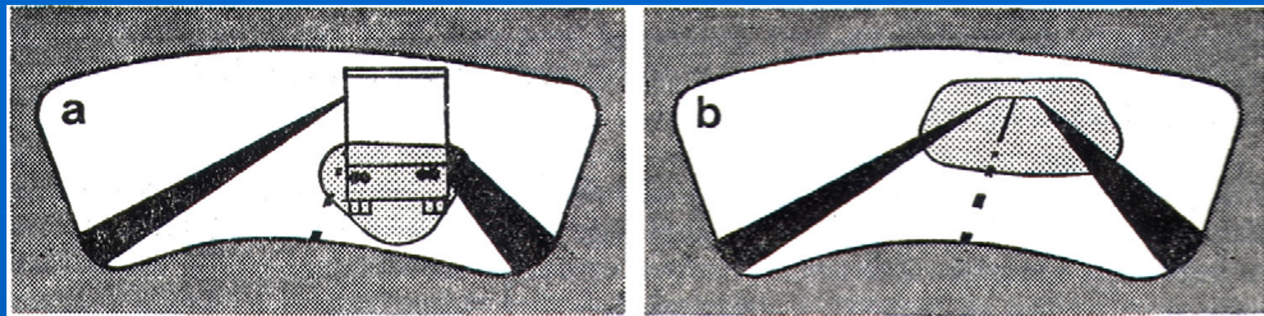
дубина видног поља утиче на његову ширину



Изоштрена дубина и ширина видног поља у зависности од брзине



Ограничења поља видљивости као последица конструктивних елемената каросерије возила



Подручје усмерених визура возача

a) вожња у колони, временска празнина 3 s
b) слободна вожња

Промена садржаја у видном пољу возача при различитим брзинама вожње

V=20 [km/h]
V=40 [km/h]
V=60 [km/h]
V=80 [km/h]
20° 10° 10° 20°
2° 4° 6° 8° 10°
80 60 40 20

ивичне линије имају најзначајнију улогу (истраживања помоћу филмске камере-75,9 % визура усмерено на десну ивицу коловоза (33,5 %) или на линију осовине (42,4 %))

- ✓ реакција возача

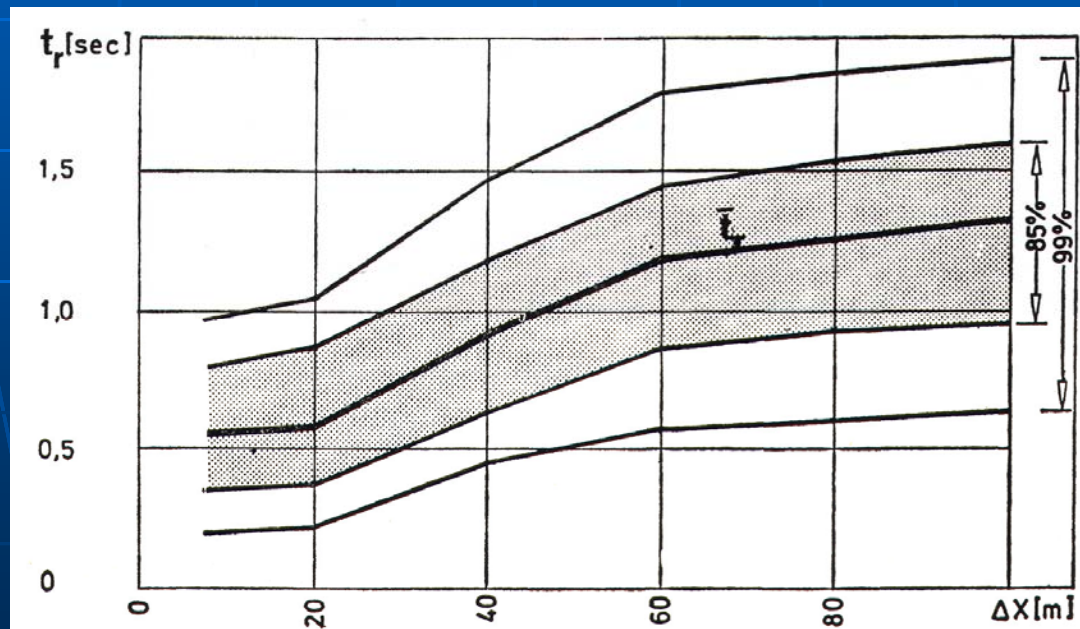
континуални низ догађаја: перцепција, идентификација, процена, провођење акције

сваки од догађаја захтева одређено време током кога се возило креће на исти начин као и када се кретало пре појаве спољашњег надражаја

процена највише зависи од психо-физичких карактеристика возача (старост, здравствено стање, умор, алкохол и др), степена обучености и искуства

исти возач може имати различито време процене у зависности од комплексности ситуације

- велико расипање времена реакције (t_r) у експерименталним резултатима (лабораторија 0,4-0,8 s, стварна вожња 0,7-2,5 s (4 s))
- са растом растојања возила време реакције расте уз веће расипање резултата
- меродавно време реакције-време измерено у 85 % случајева при условима неочекиваног надражаја



Расподела опажања времена реакције у зависности од растојања возила

прелазни/пређени пут до момента почетка акције

$$L_r = t_r \cdot \frac{V\,[km/h]}{3{,}6} \quad [m]$$

- ✓ физиолошка ограничења

реакција на промену брзине (убрзање, успорење)- додатни притисак услед реакције инерцијалних сила

утицај антрополошких карактеристика путника, конструктивних особина возила, удобности седишта и сл.

реакција на промену правца-радијално убрзање на које је човек много осетљивији

реакција возача је битно различита од реакције путника

просечно успорење		реакција возача	реакција путника
[m/s²]	g=9,81 m/s²		
2,64	0,27·g	удобно	удобно
3,43	0,35·g	непожељно	непожељно, непријатно
4,22	0,43·g	врло непожељно, примена у случају опасности	оштро и опасно, могуће повреде

- пројектни елементи се димензионишу за успорења у распону од 0,25·g до 0,35·g
- у нормалним условима просечно успорење ретко прелази u=0,3·g
- горња граница радијалног убрзања је p=0,35·g, док се релативна удобност може очекивати тек при p≤0,25·g

Динамика вожње

- ✓ механика: принудно кретање материјалне тачке по просторној кривој путањи
- ✓ примена у процесу пројектовања путева:

  - анализа кретања појединачних возила у слободном саобраћајном току (убрзања, успорења, претицања...)

  - формирање детерминистичких модела при различитим анализама (прорачун капацитета...)

  - прорачун граничних елемената плана и профила при трасирању и пројектној разради

  - прорачун времена вожње и потрошње горива за утврђивање трошкова при поређењу варијанти

✓ основни параметри кретања

пут	[m]	$x(t)$
брзина	[m/s]	$v(t) = \frac{dx}{xt}$
убрзање	[m/s^2]	$u(t) = \frac{dv}{xt} = \frac{d^2x}{xt^2}$
трзај-удар	[m/s^3]	$s(t) = \frac{du}{xt} = \frac{d^2v}{xt^2} = \frac{d^3x}{xt^3}$

Једначине кретања:

- једнолико
- једнолико убрзано/успорено
- неједнолико убрзано/успорено

сила

рад и енергија

снага

возило се посматра као сложен динамички систем који се реализује преко контакта са коловозом => полазна тачка у анализи кретања возила је разматрање стања и понашања пнеуматика

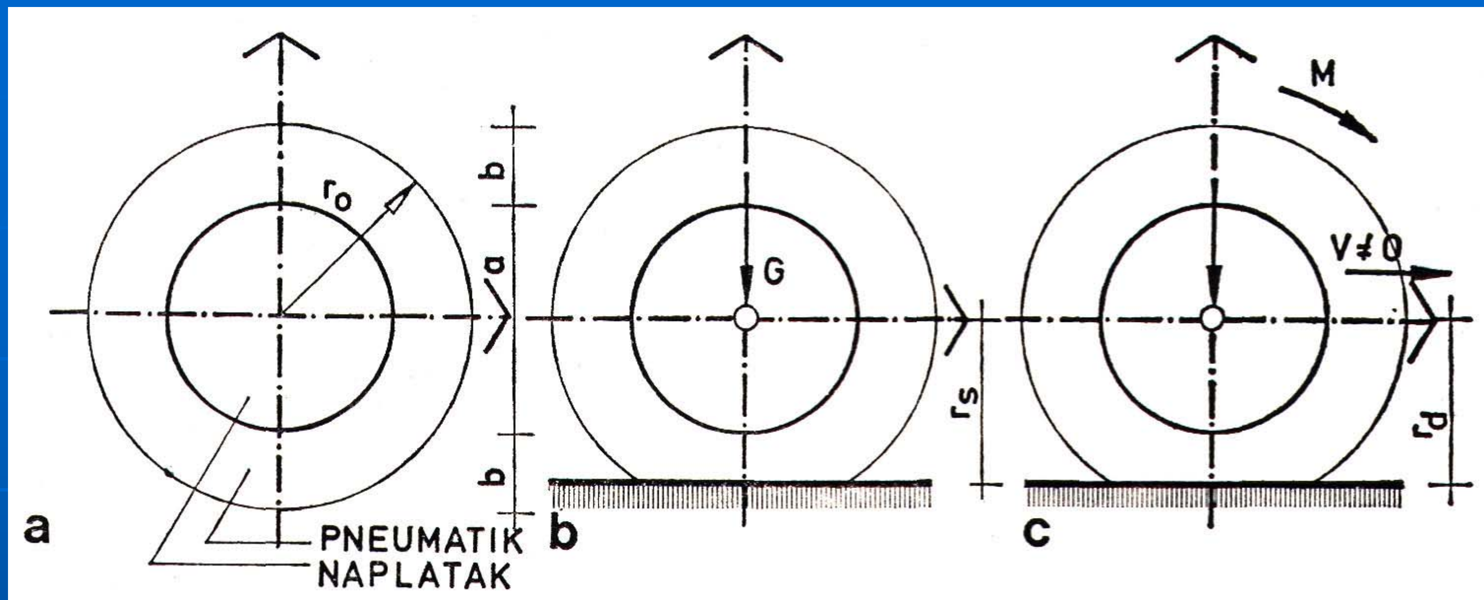
полупречник точка није константан током кретања (оптерећење и стање точка)

основни полупречник r_o-номиналне димензије точка

статички полупречник r_s-растојање од површине коловоза до осовине точка који је максимално или делимично оптерећен и у стању мировања

динамички полупречник r_d-растојање од површине коловоза до осовине точка који је максимално или делимично оптерећен и који се котрља

фиктивни полупречник r_f-теоријски полупречник идеално крутог точка који има транслаторну брзину котрљања и брзину обртања исте као стварни точак



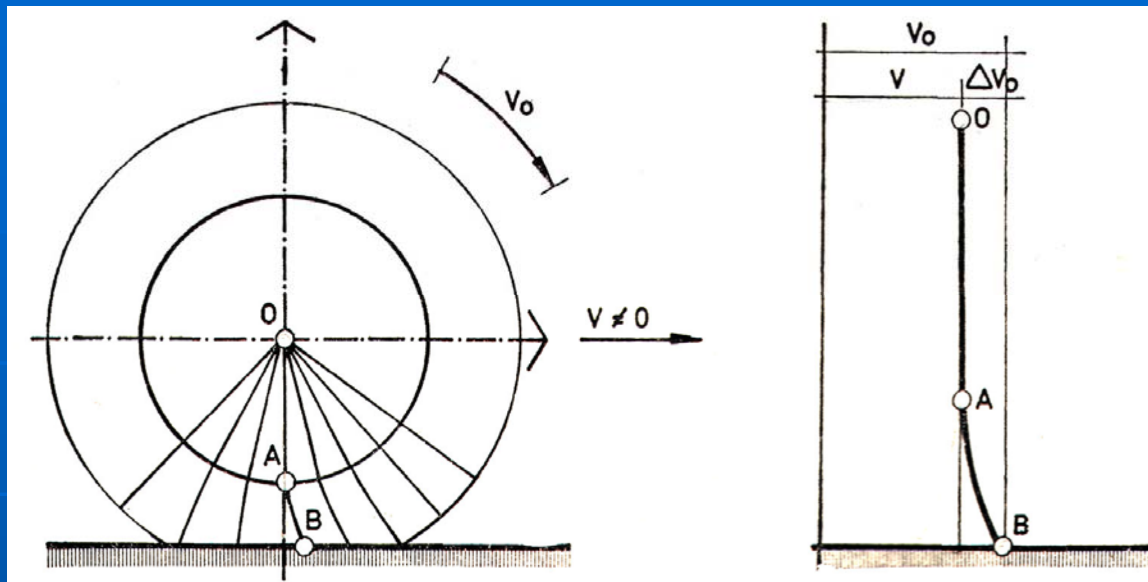
Карактеристични полупречници точка

- врсте кретања

анализа кретања-радијални елементи точка који се под дејством обртног момента налази у стању котрљања

без еластичне деформације точка => транслаторна брзина v = обимна брзина v_o

праћење еластичне деформација точка $\Delta v_o = \omega \cdot (r_d - r_f)$



Шематски приказ понашања точка у стању котрљања

у предњем делу додирне површине долази до скупљања, а у задњем до размицања радијалних линија

разлика брзина настаје услед клизања

коефицијент клизања $0 \le k \le 1$

$$k = \frac{\Delta v_o}{v_o} = \frac{\omega \cdot (r_d - r_f)}{\omega \cdot r_d} = 1 - \frac{r_f}{r_d}, \text{ за } v_o > v \qquad k = \frac{\Delta v_o}{v} = 1 - \frac{r_d}{r_f}, \text{ за } v > v_o$$

Случајеви кретања точка:

-чисто котљање без клизања

$v=v_o \Rightarrow r_d=r_f \Rightarrow k=0$

- чисто проклизавање

$v=0,\ v_o>0,\ r_f=0 \Rightarrow k=1$

- чисто клизање

$v>0,\ v_o=0,\ r_f \rightarrow \infty \Rightarrow k=1$

- делимично клизање

$v>v_o,\ r_f>r_d \Rightarrow 0<k<1$

- делимично проклизавање

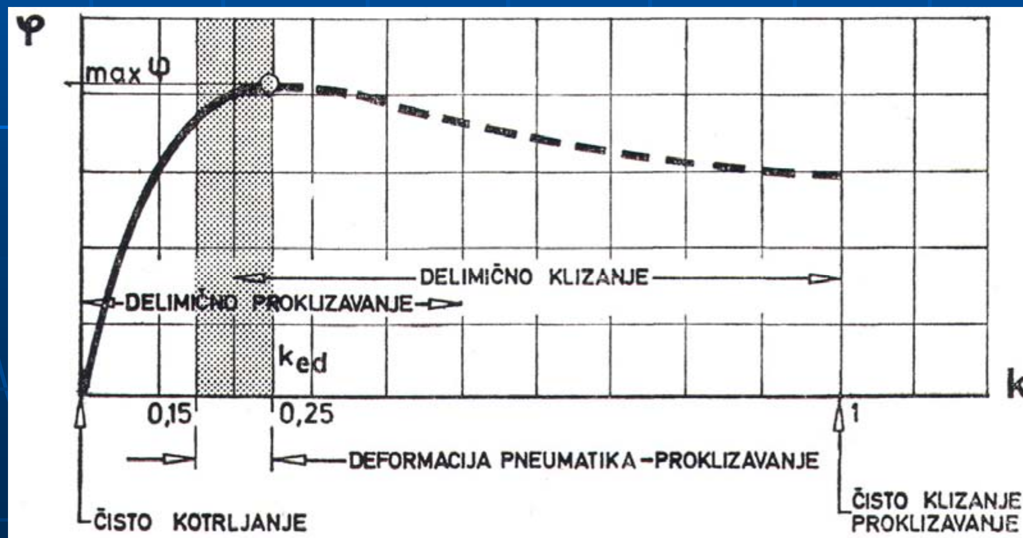
$v_o>v,\ r_d>r_f \Rightarrow 0<k<1$

преношење погонске силе (кретање возила) омогућено је пријањањем између пнеуматика и подлоге

коефицијент пријањања φ (материјал и конструкција пнеуматика, особине и стање коловозног застора, брзина вожње, температура коловоза и пнеуматика)

одређује се експериментално

за $k>k_{ed}$ проклизавање погонског точка-блокирање коченог точка



Карактеристичан ток функције φ=f(k)

- котрљање точка

вертикална раван, без утицаја бочне силе, деформације подлоге занемарљиво мале, котрљање по правом хоризонталном путу

G_t - тежина точка

P_v - вертикално оптерећење од рама возила

P_h - хоризонтално оптерећење од рама возила

P_i - инерцијална сила услед убрзаног транслаторног кретања

P_w - сила отпора ваздуха

Y - вертикална реакција

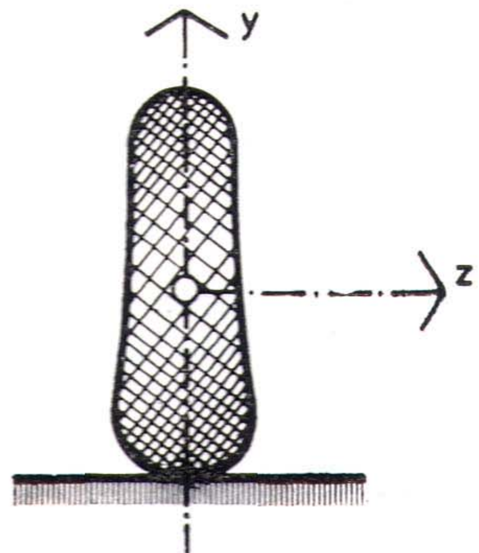
X - хоризонтална реакција

M_i - инерциони моменат точка

M_w - моменат отпора ваздуха

M_t - обртни моменат на точку

y
M_t
M_w
V
G_t
P_h
P_i
P_w
x
0
M_i
P_v
X
a
Y



V - TRANSLATORNA BRZINA CENTRA TOČKA "0"

a - RASTOJANJE NAPADNE TAČKE VERTIKALNE REAKCIJE OD OSOVINE TOČKA, USLED DEFORMACIJE PNEUMATIKA

x
max p
a
a'
RASPODELA PRITISAKA

Моделска представа оптерећења погонског точка

диференцијалне једначине кретања (претпоставка једноликог кретања v=const, dv/dt=0, $M_t=0$, $P_t=0$)

$$Y = G_t + P_v$$

$$X = P_h$$

$$M_t = X \cdot r_d + Y \cdot a$$

Стања точка:

- погонски точак

$0<X<\varphi \cdot Y$, X делује у правцу кретања

$a \cdot Y \leq M_t \leq Y \cdot (\varphi \cdot r_d + a)$

ако се прекорачи max X долази до клизања, а на додиру пнеуматика и коловоза јавља се тангенцијална сила $X_t = f \cdot Y$, $\varphi > f$

f - коефицијент трења клизања

- вођени точак

$X=-Y\cdot a/r_d=-Y\cdot w_k$, X делује супротно од смера котрљања точка

$O=X\cdot r_d+Y\cdot a$

$M_t=0$

точак се котрља под дејством силе P_h која је једнака отпору котрљања точка $X=-P_h=-Y\cdot w_k$

- кочени точак

$M_t=M_k<0$

M_k - моменат кочења

обртни моменат делује супротно од смера обртања точка, а отпор котрљању супротно од смера кретања возила

- ✓ отпори кретању

Отпор при котрљању W_k

извори: трење у лежиштима точкова, трење произведено на контакту точка са коловозном површином, унутрашње трење у пнеуматику приликом деформације, трење код прикључног возила у вучним уређајима и сл.

отпори при котрљању погонског и вођеног точка нису исти, али је разлика занемарљива

$$W_k = w_k \cdot \Sigma Y = w_k \cdot G_{br} \qquad [N]$$

G_{br} - сума нормалних реакција тла које делују на точкове

стање застора	w_k [N/N]	w_k [kN/N]
максимално раван	0,012 - 0,02	12 - 20
средње раван	0,018 - 0,03	18 - 30
изабан	0,025 - 0,04	25 - 40

w_k расте са порастом брзине => повећање отпора котрљању => повећање вучне силе => повећање потрошње горива

за $V \leq 80$ km/h $w_k = const$

за $V > 80$ km/h образац Hahn-a

$$w'_k = w_k + 0{,}5 \cdot \frac{V^2}{10^6}$$

Отпор нагиба W_i

сила која се супротставља (на успону) или помаже (на паду) кретању

$W_i = G_{br} \cdot \Delta h / \Delta l = \pm G_{br} \cdot i_N$ [N]

негативна вредност на паду делује као допунска вучна сила

пад кочења-пад који се изједначава са укупном вредношћу w_k => отпор котрљања се савлађује отпором пада

даље повећање пада изазива убрзано кретање или захтева ангажовање силе кочења да би се одржала константна брзина

Отпор ваздуха W_v

чеони притисак ваздушних маса које се супротстављају кретању возила, а у мањој мери и отпор услед струјања ваздуха око возила и отпор прострујавања

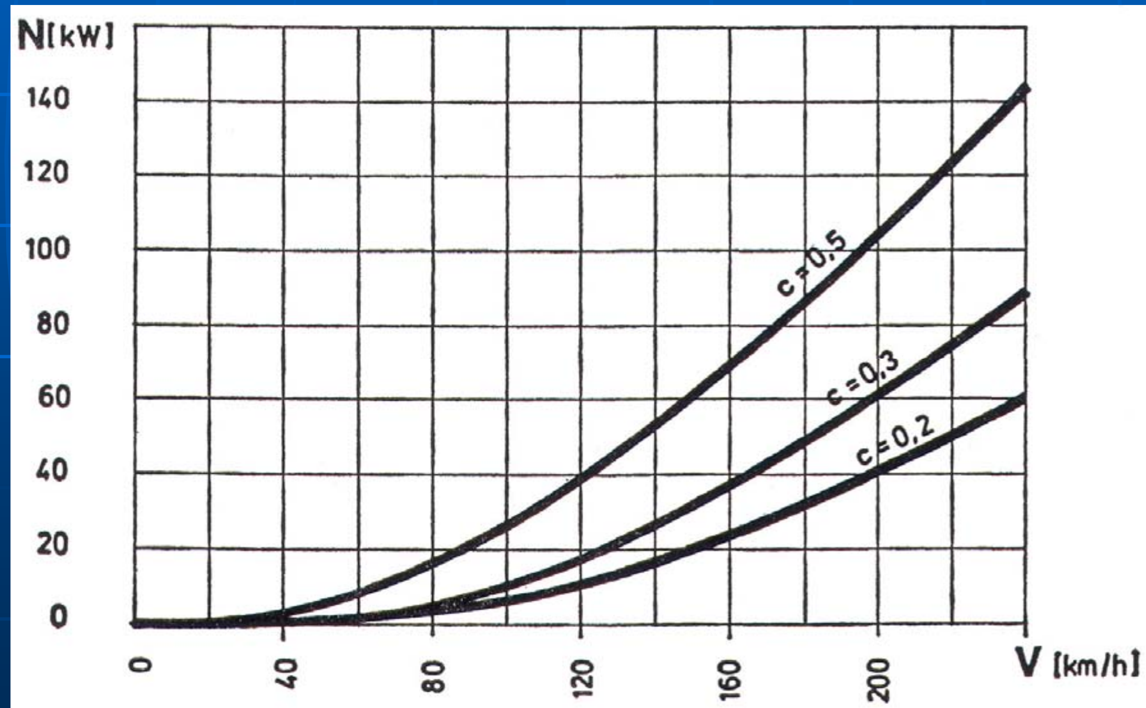
утицајни фактори: брзина кретања возила, релативна брзина струјања ваздушних честица, величина чеоне површине, облик возила, густина ваздуха

$$W_v = 0,05 \cdot c \cdot F \cdot V_r^2 \quad [N]$$

c - коефицијент отпора ваздуха, одређује се експериментално у аеродинамичким тунелима

F - чеона површина возила [m²]

V_r - релативна брзина струјања ваздуха [km/h]



Потребна снага за савлађивање отпора ваздуха у зависности од облика возила

врста возила	c	F [m²]
PA	0,3 - 0,5	1,5 - 2,5
KAM	0,6 - 0,9	4 - 8
BUS	0,7	6 - 8

Отпор инерцијалних сила W_j

резултат убрзаног кретања возила (маса добија транслаторно убрзање, а систем замајац-точак ротационо убрзање)

$W_j = W_{jt} + W_{jr}$

упрошћено $W_j = \pm W_{jt} \cdot \rho = \pm \frac{G_{br}}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \cdot \rho \quad [N]$

ρ - коефицијент учешћа обртних маса (конструкција возила, примењени степен преноса у мењачу)

постоје и други отпори, али су секундарног значаја

Основни отпори (који увек делују):

- отпор при котрљању
- отпор нагиба
- отпор ваздуха

$$\Sigma W = W_k \pm W_i + W_v = G_{br} \cdot (w_k \pm i_N) + W_v = W_p + W_v$$

W_p - отпори пута, укупна сила отпора који искључиво зависе од услова пута

- ✓ вучне карактеристике возила

кретање возила зависи од узајамног дејства мотора и трансмисије на погонске точкове и дејства точкова на подлогу

Динамичке могућности SUS мотора-погонске карактеристике:

- снага мотора на замајцу N_e [W]
- обртни моменат мотора M_m [Nm]
- специфична потрошња горива g_e [gr/kWh, gr/min, l/h]

вучна сила возила/пуна обимна сила на погонским точковима

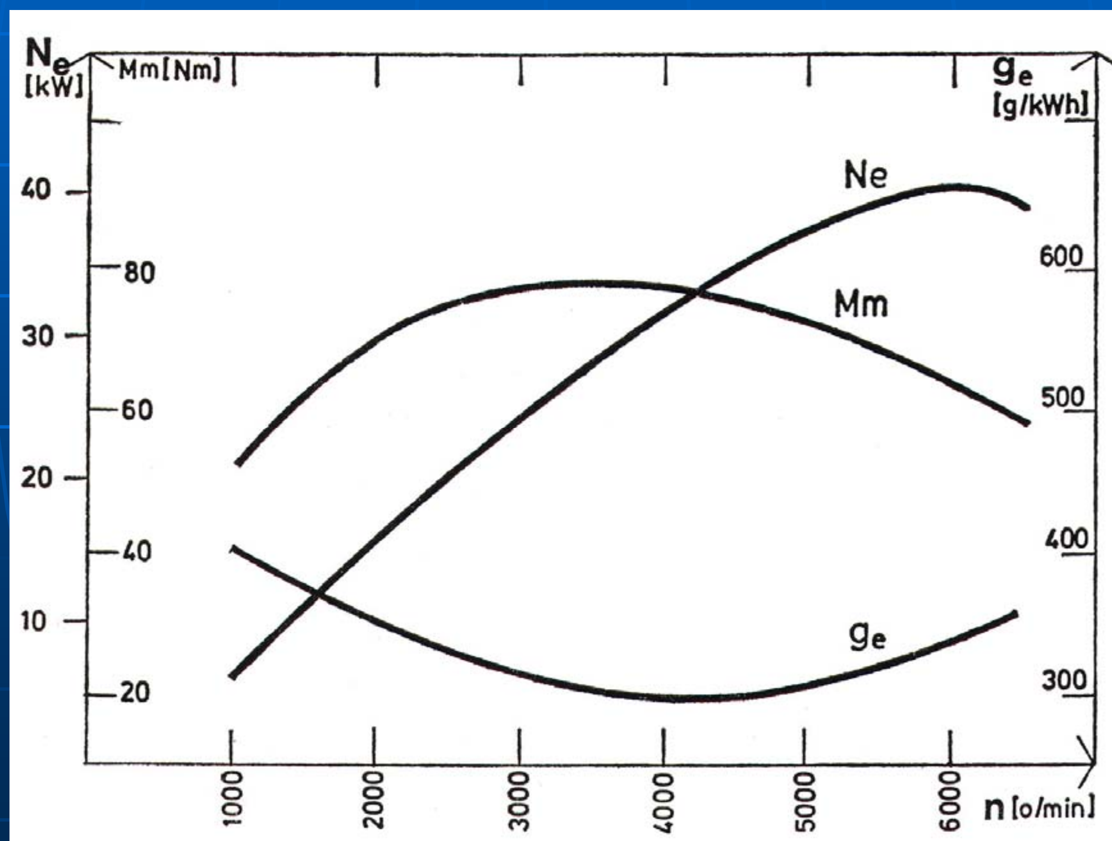
$Z=3{,}6 \cdot N_e \cdot \eta / V$ [N]

кочна снага мотора

$K=3,6 \cdot K_e / V \cdot \eta$ [N]

η - степен корисности трансмисије

K_e - кочна снага моторне кочнице код дизел мотора или кочна снага мотора



Погонске карактеристике SUS мотора

полазни услов за кретање возила је да постоји вучна сила која је у стању да савлада отпоре кретања

диференцијална једначина кретања возила/једначина вучног биланса возила

$$\frac{dv}{dt}=\frac{g}{\rho}\cdot\frac{M_m\cdot i_m\cdot i_o\cdot\eta}{G_{br}\cdot r_d}-\left(w_k\cdot\cos\alpha\pm\sin\alpha+\frac{0{,}05\cdot c\cdot F\cdot V_r^2}{G_{br}}\right)$$

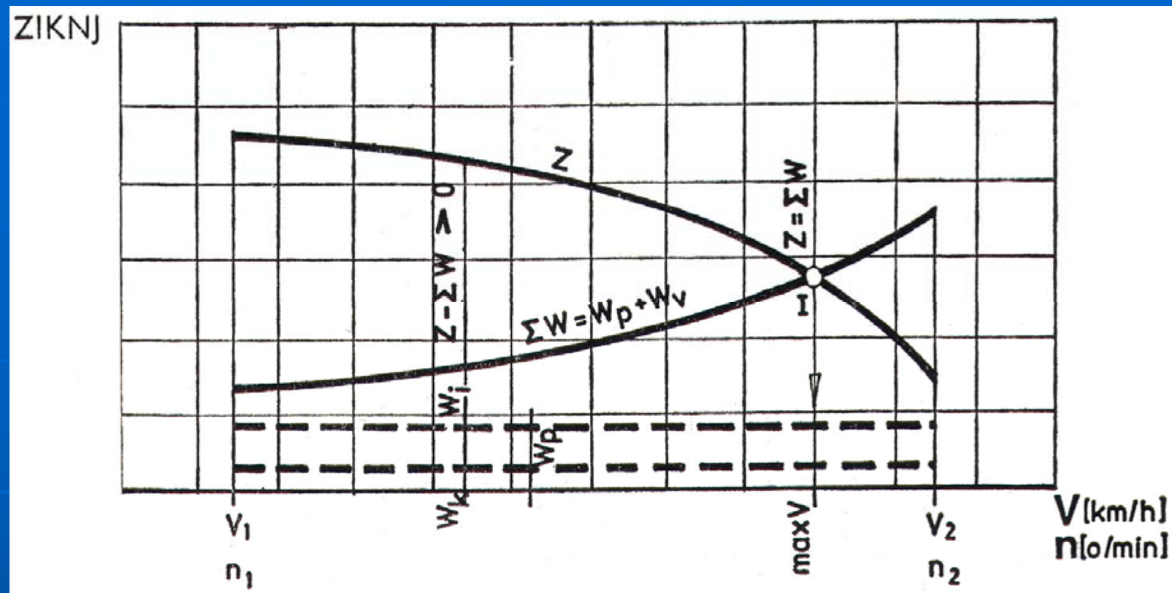
i_m - преносни однос мењача

i_o - преносни однос главног преносника

за v=const и dv/dt=0, једнолико кретање

$Z=G_{br}\cdot(w_k\pm i_N)+W_v$

могуће је одредити потребну вучну силу за савлађивање одређених отпора, оценити вучно-брзинске карактеристике (вучна сила у функцији брзине кретања возила) и одредити преносне односе у појединим степенима преноса



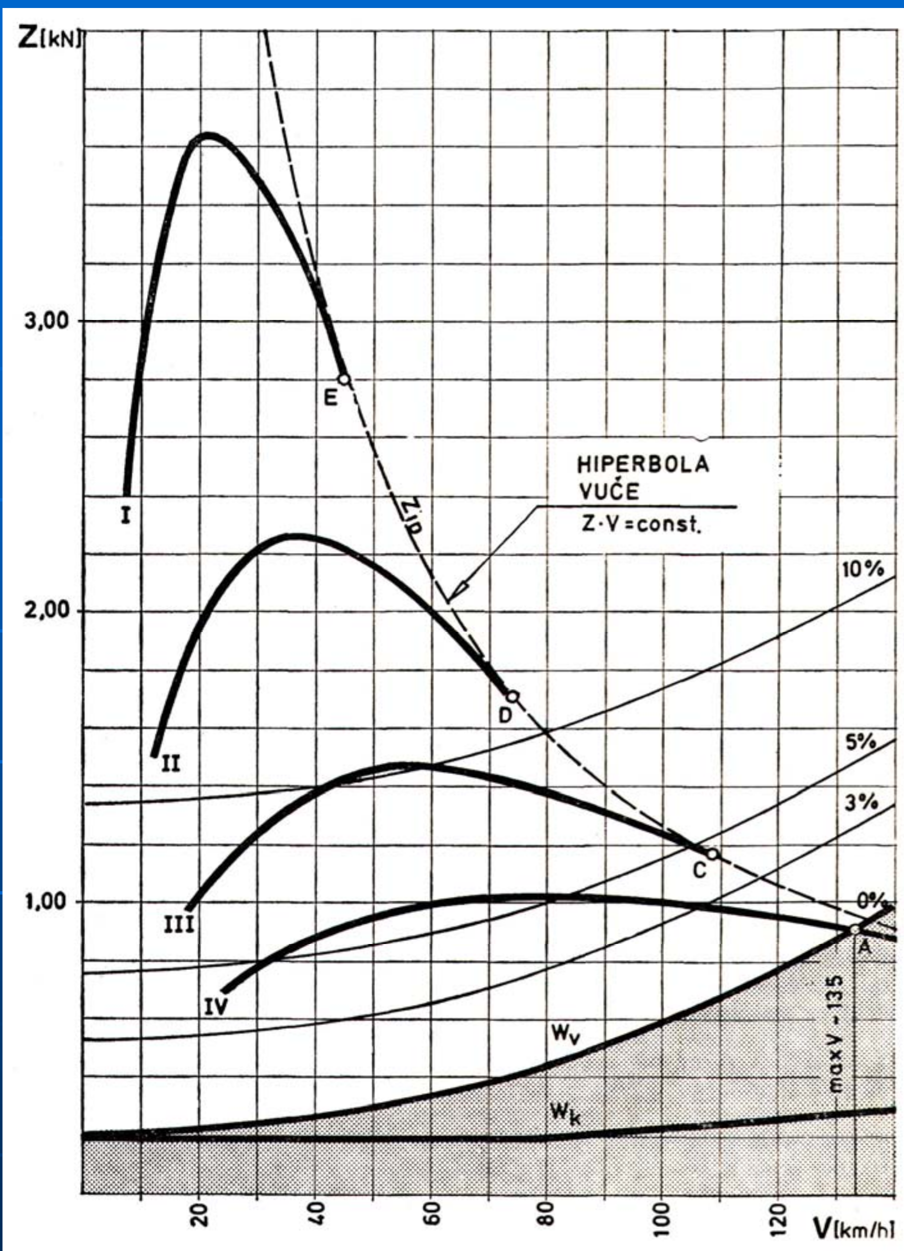
Вучни биланс возила

максимална брзина при $Z=\Sigma W$, апсолутна за $W_i=0$

у подручју V_1-max V могуће је убрзано кретање са резервом вучне силе

$$Z - \Sigma W = m \cdot \rho \cdot \frac{dv}{dt}$$

регулисање вучне силе се одвија помоћу мењачке кутије



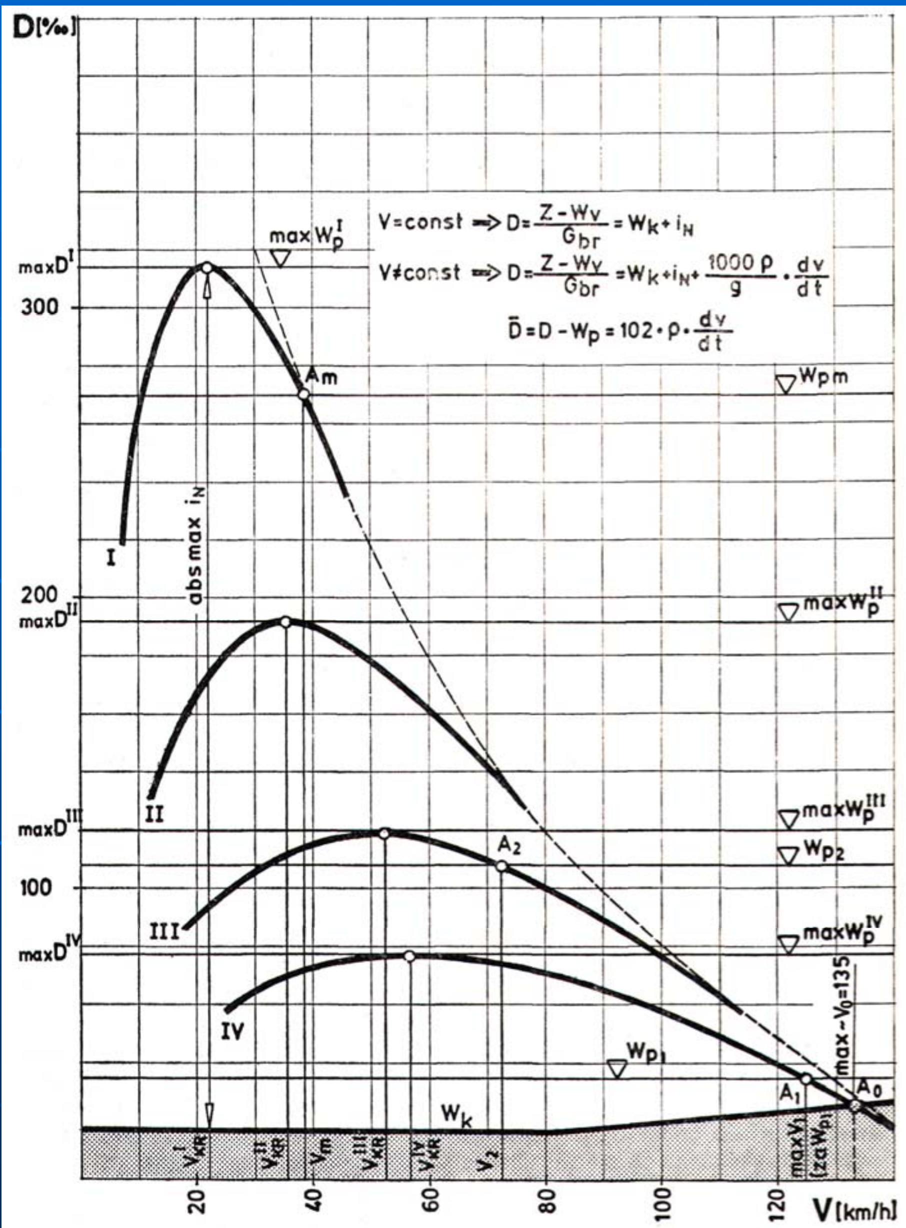
Општи облик дијаграма вучног биланса за возило са четири степена преноса

- хипербола вуче је континуална крива линија (безстепени мењач и електрична возила), потпуно искоришћена снага мотора у свим режимима рада
- у тачкама B, C, D и E број обртаја је максималан уз пуно искоришћење снаге мотора
- у тачки А је максимална брзина возила
- за V<80 km/h отпор котрљања је константан

динамички фактор возила-део вучне силе по јединици тежине возила која се може ангажовати за савлађивање отпора пута или за промену стања кретања

$$\frac{Z - W_v}{G_{br}} = w_k \pm i_N = D$$

основна примена у пројектовању је одређивање могућности савлађивања максималних успона и провера могућности убрзања при датим условима пута



Нормални дијаграм вуче

- у тачки A_o је максимална брзина возила
- у тачкама A_1, A_2, ... је максимална вредност брзине за одређени степен преноса и услове пута
- максимална вредност динамичког фактора је и максимална вредност коефицијента отпора пута која се може савладати у том степену преноса-критична брзина
- ако је $V<V_{kr}$ треба прећи у нижи степен преноса и успоставити стабилно кретање
- возно-динамичке особине су боље ако су вредности V_{kr} мање

максимални успон за дати степен преноса мењача при кретању константном брзином

$\max i_N = \max D^N - w_k$

апсолутно максимални успон (из апсолутно максималне вредности динамичког фактора

$\text{abs} \max i_N = \max D^I - w_k$

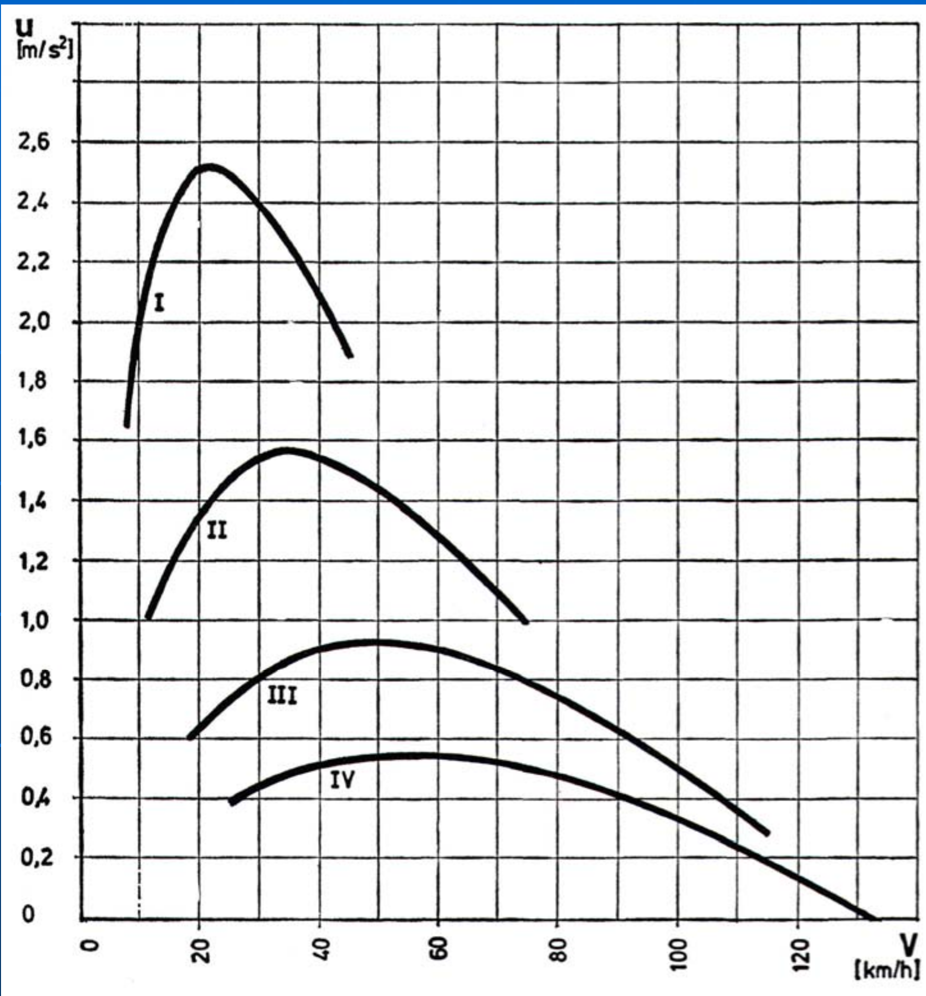
кретање променљивом брзином/ убрзање

$$D = w_k \pm i_N \pm \frac{\rho}{g} \cdot \frac{dv}{dt}$$

$$\frac{dv}{dt} = \left[D - \left(w_k \pm i_N\right)\right] \cdot \frac{g}{\rho}$$

вредност $D - w_p$ се добија из нормалног дијаграма вуче као разлика динамичке карактеристике за одређени степен преноса и коефицијента отпора пута => криве убрзања на основу којих се одређује време и пут убрзања

време-t и пут-x убрзања



Криве убрзања

$$c = \left(D^N - w_p^N\right) \cdot \frac{g}{\rho}$$

$$t = \int_{V_o}^{V_n} \frac{1}{c} \cdot dv$$

$$x = \int_{t_o}^{t_n} v \cdot dt$$

- ✓ аналитичко уопштавање кретања

кретање возила-промена положаја са временом зависи од односа вучне силе и отпора кретању

$Z=\Sigma W$, $V=const$

кретање равномерном брзином-не одражава праву слику динамичког стања на путу, користи се за геометријско пројектовање слободних деоница пута (гранични елементи плана и профила, $V=V_r$)

$Z\neq\Sigma W$, $Z-\Sigma W=\pm m\cdot\rho\cdot dv/dt$

променљиво кретање-нормална појава у вожњи, убрзање се користи за анализу могућности маневрисања, димензионисање изливно-уливних трака, испитивање потребе за увођењем додатне траке за спора возила

- отпор клизању

  кретање возила-$Z \geq \Sigma W$, али мора постојати и отпор клизању између коловоза и погонских точкова $T \geq Z$

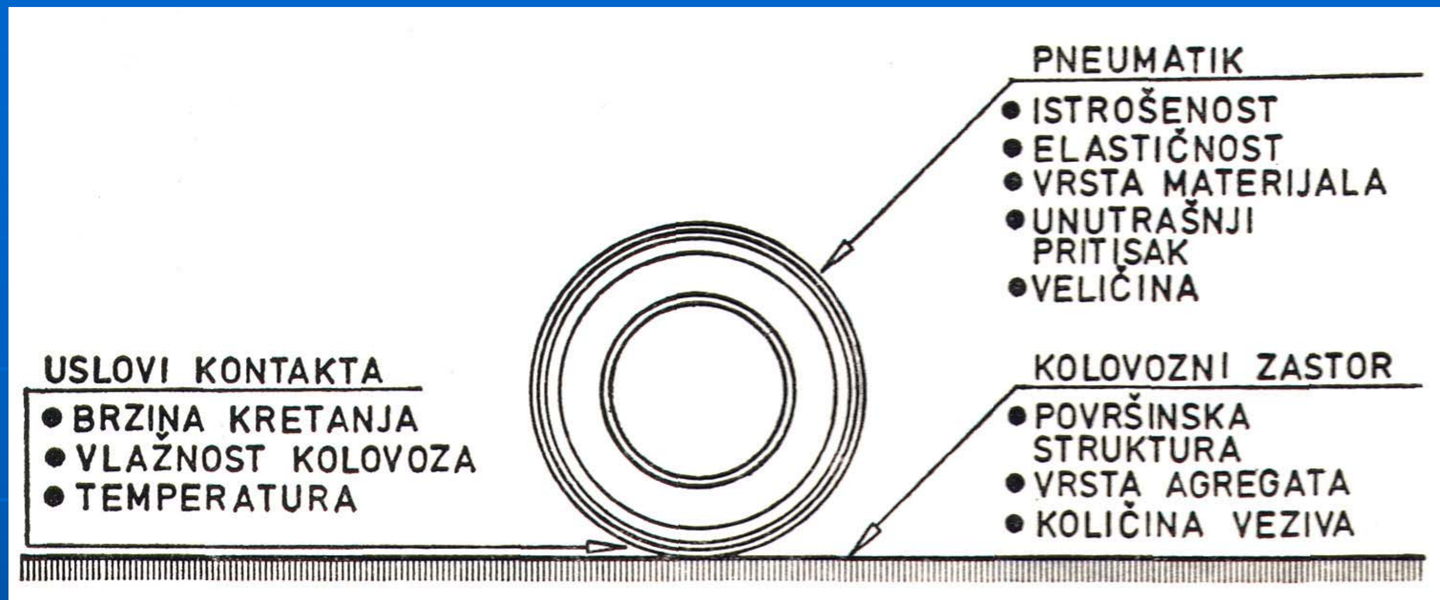
  отпор клизању утиче и на кочење возила и стабилност у кривинама

  сила клизања $T=N \cdot f$ [N]

  нормална сила је увек позната величина

  коефицијент трења је набитнији фактор отпора клизању-сила потребна да се један предмет помери по другом предмету, према сили управној на раван клизања

  зависи од физичких карактеристика пнеуматика и коловозног застора и услова њиховог контакта => вишезначно променљива функција



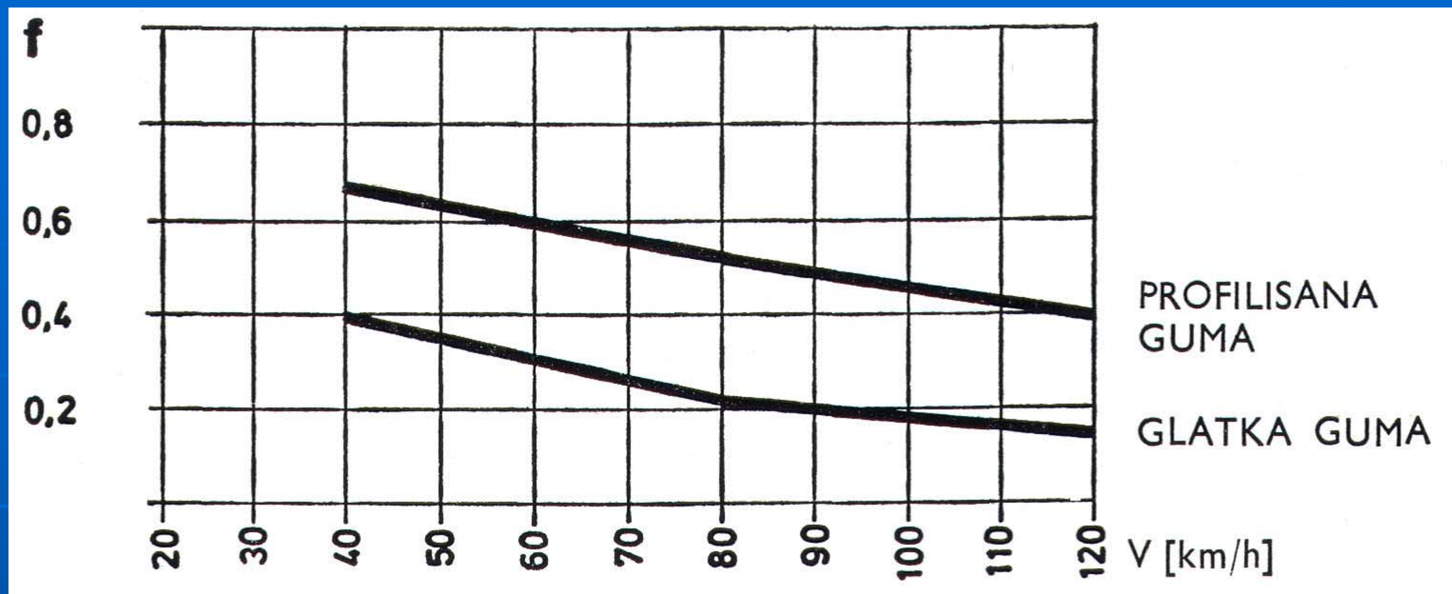
Фактори који утичу на величину коефицијента трења

- стање пнеуматика

нови пнеуматици могу имати и до 100 % већу приоњљивост у односу на истрошене

радијални пнеуматици су бољи од дијагоналних

гума на бази природног каучука боље остварује контакт са коловозом него синтетичка гума



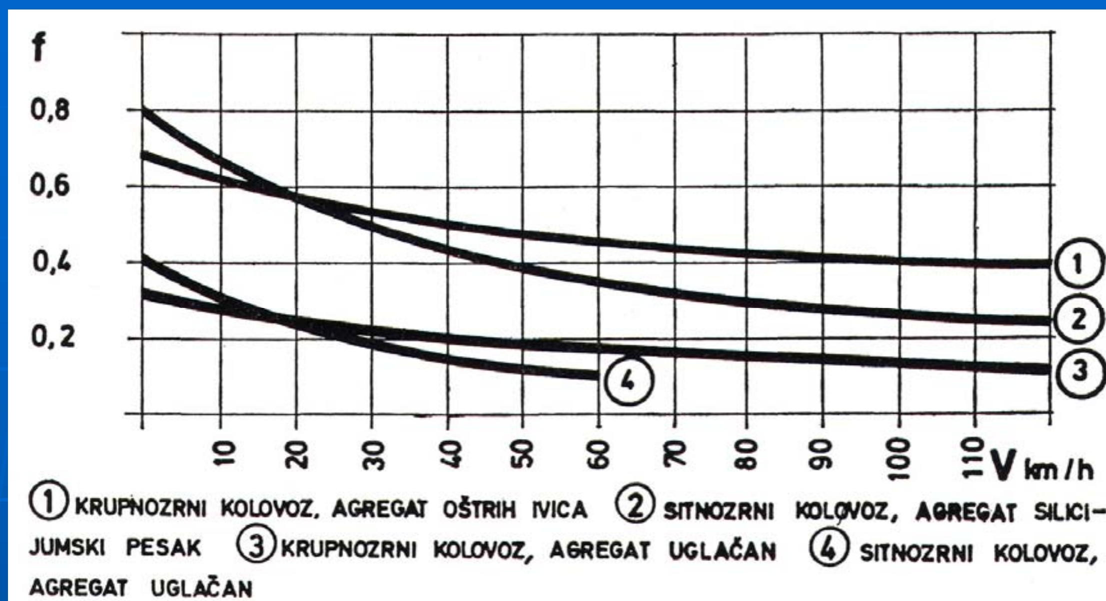
Утицај истрошености пнеуматика на f за асфалтни застор

- коловозни застор

није једноставно дефинисати зависност

крупнозрне површине дају већи отпор клизању, али и ситнозрне структуре имају повољне карактеристике

доминантни фактор су карактеристике агрегата: величина зрна, чврстоћа, отпорност на глачање и абање, оштрина ивица и сл.

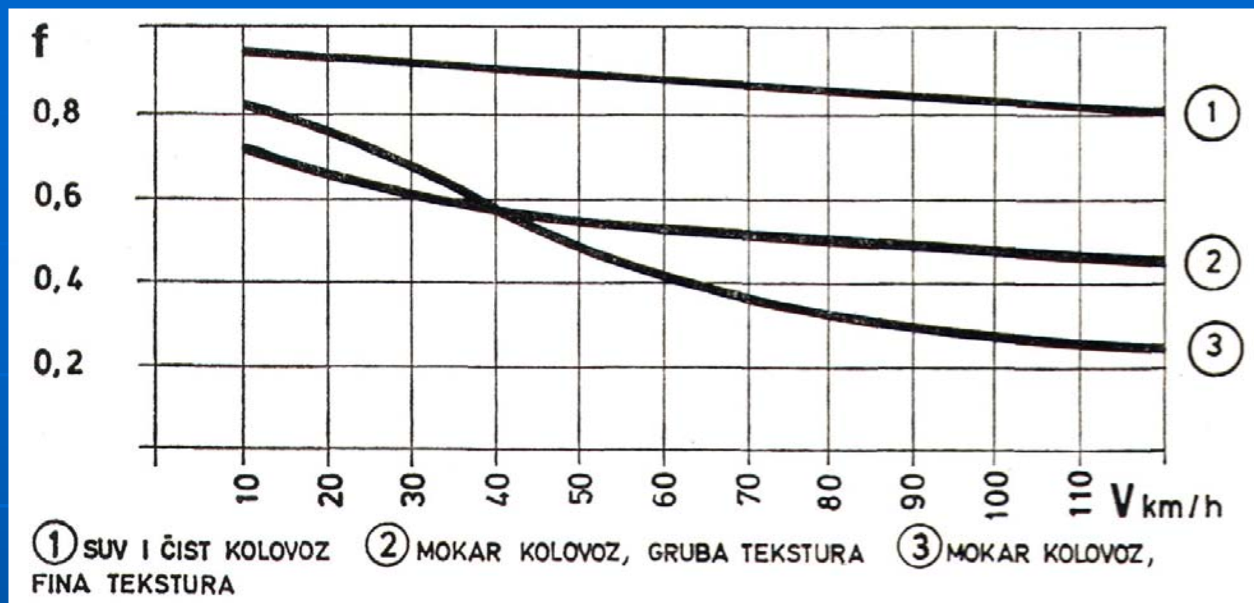


Зависност f од структуре коловозног застора

количина везива остварује битан утицај-вишак везива се током лета јавља као пластичан асфалтни материјал који значајно погоршава услове контакта точка и подлоге

- услови контакта

две променљиве компоненте-брзина возила и стање коловоза



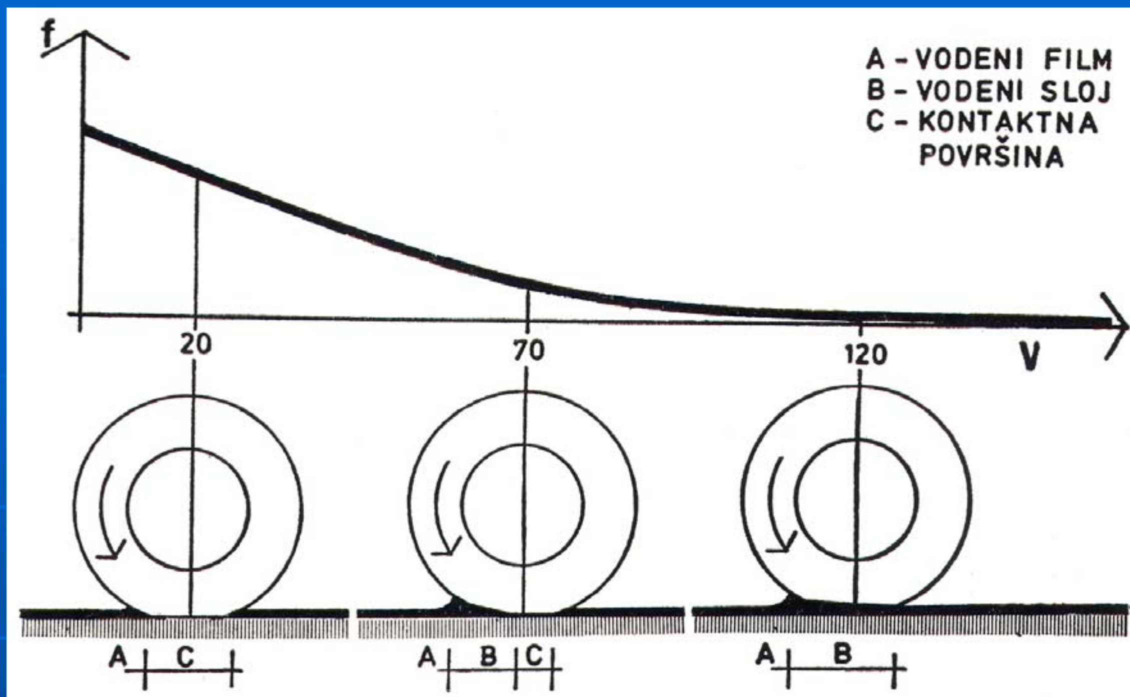
Промена f са порастом брзине кретања

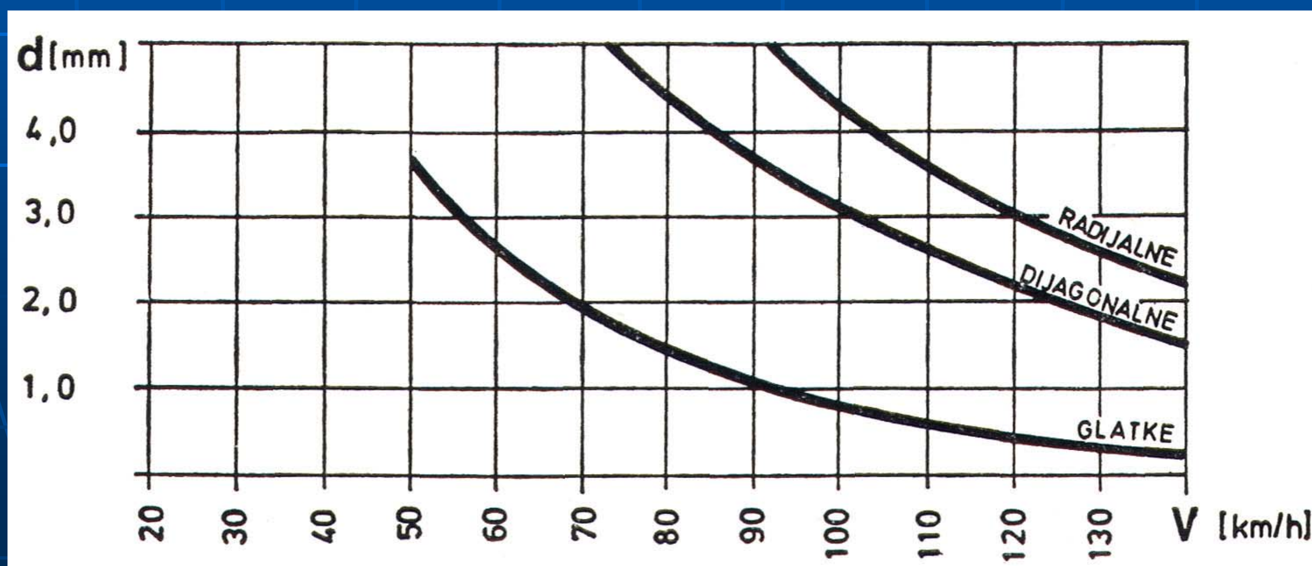
при брзини од 48 km/h време контакта пнеуматика са коловозом је 0,01 s (довољно само ако је пнеуматик прописно профилисан и под нормалним притиском)

мокар коловоз-контакт зависи од степена истискивања воде испод пнеуматика

при великим брзинама пнеуматик лебди подржаван хидрауличким притиском-aqua planing (појављује се већ при d>2mm и V>60 km/h)

Контакт пнеуматика и коловозног застора при разним брзинама вожње



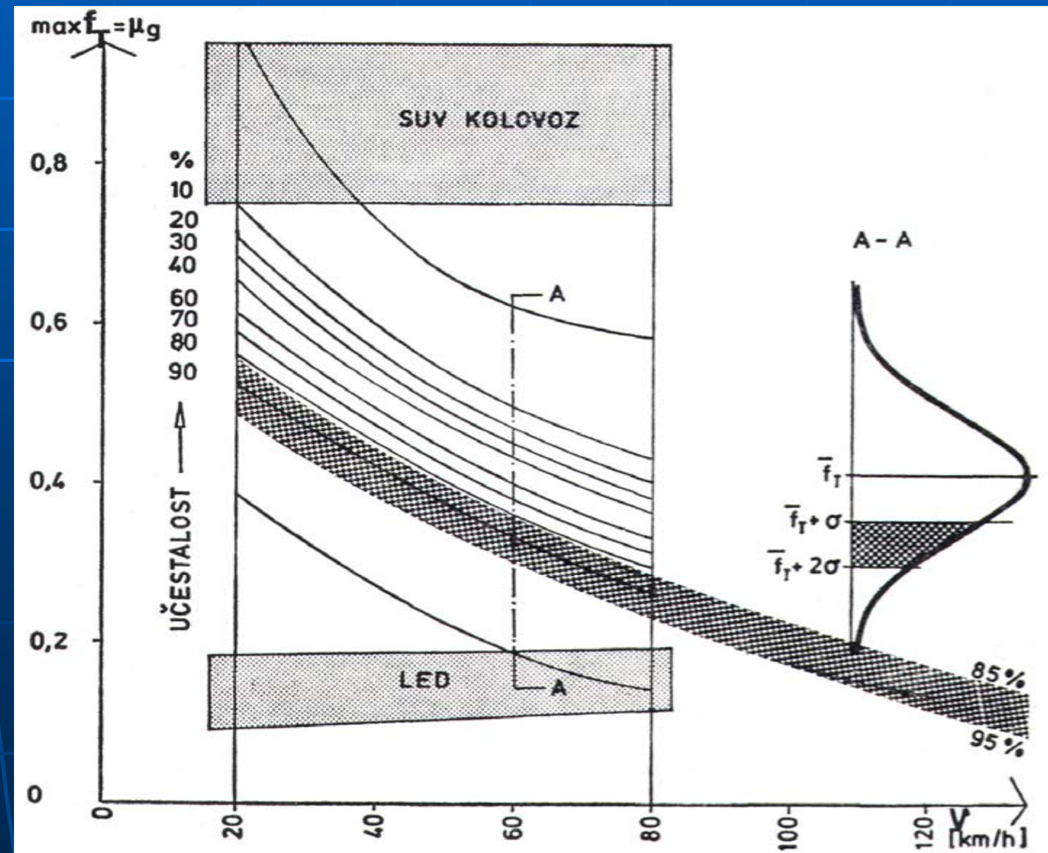


Услови за појаву aqua-planing-a за различите врсте пнеуматика

пројектовање-средње вредности f које одговарају чистим, мокрим коловозима, нормалне храпавости

пријањање се одређује експериментално (блокирани точак, проклизавање 100 %)

велика зависност мерених резултата за мокар коловоз, али инертност за сув или залеђен коловоз

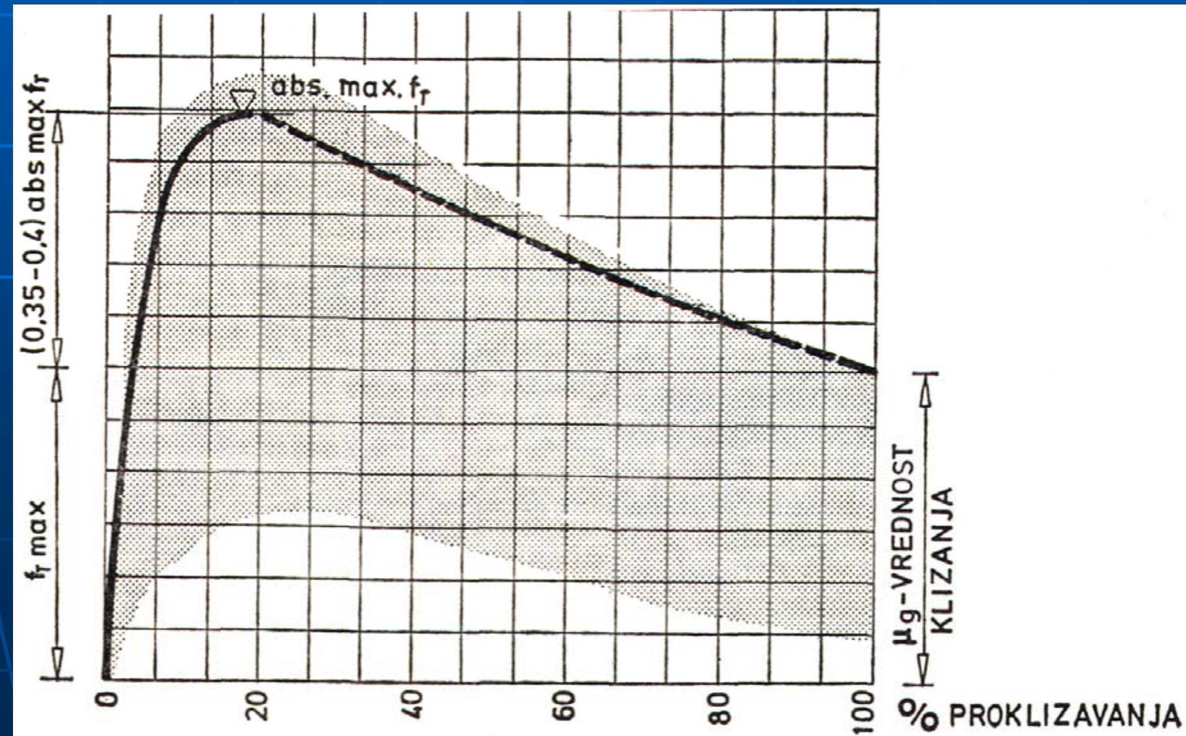


Мерене вредности подужне компоненте коефицијента трења

нормиране вредности-статистичка обрада са $f_T+\sigma \leq \max f_T \leq f_T+2\cdot\sigma$ (обухваћено 85-95 % резултата)

највећа приоњљивост се постиже при максималној вредности делимичног проклизавања услед еластичне деформације пнеуматика

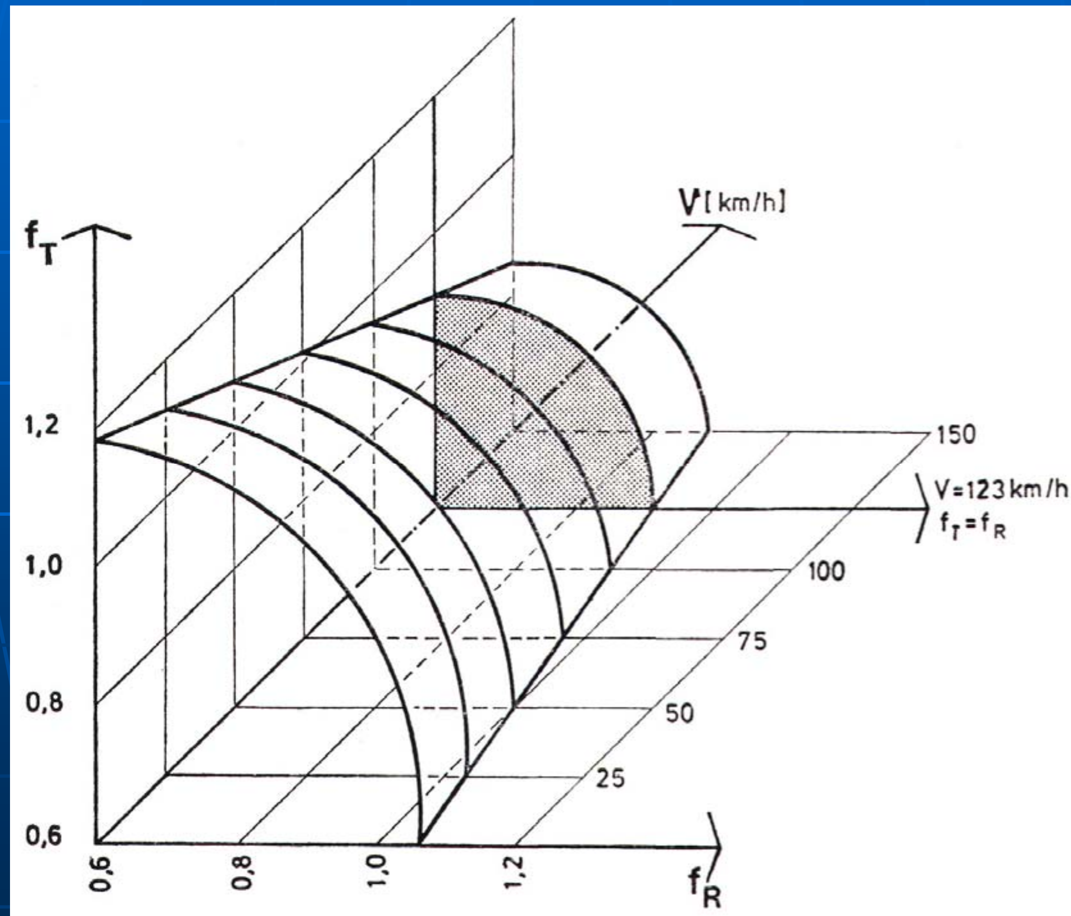
максимум коефицијента трења се достиже за $0,15<k<0,25$



Промена f_T у зависности од процента проклизавања

вожња у кривини-тангенцијалне и радијалне силе на контакту пнеуматика и коловоза

$$f = \sqrt{f_T^2 + f_R^2}$$

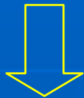


Однос коефицијената трења у функцији брзине

$V<123$ km/h $f_T>f_R$

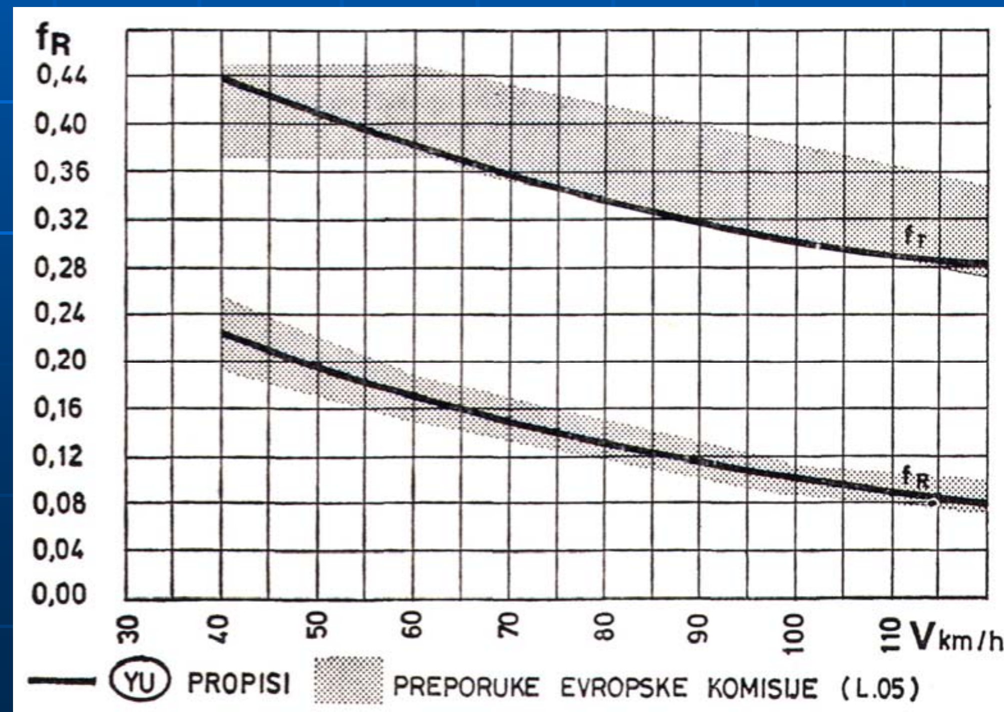
$V=123$ km/h $f_T=f_R$

$V>123$ km/h $f_T<f_R$



однос max f_R/max f_T мора бити мањи од 1 за подручје брзина примењљивих у пројектовању

усвојено је max f_R/max f_T=0,925



Нормиране вредности коефицијента трења према прописима за пројектовање путева

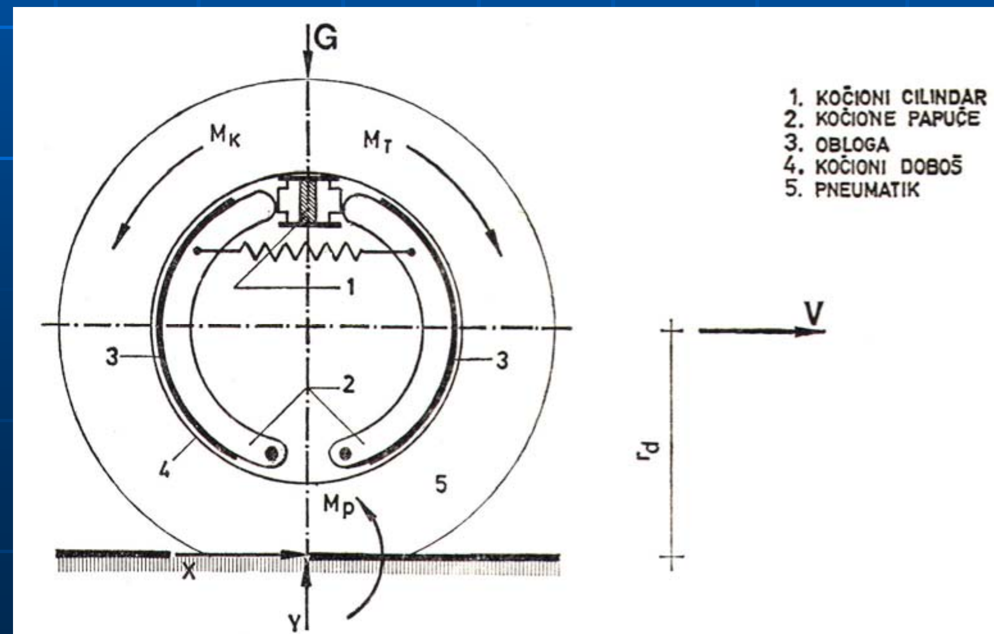
нормиране вредности f_T-пут кочења, прегледност, минимални радијуси вертикалних кривина

нормиране вредности f_R-димензионисање хоризонталних кривина

- ✓ кочење возила

смањење брзине под дејством свесно произведене механичке силе која се супротставља кретању

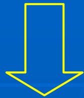
енергија кретања се претвара у топлотну енергију



Систем за кочење точка са моментима који учествују у процесу кочења

K≤max T обезбеђено кочење

K>max T блокирани точкови, чисто клизање, нема контроле возила од стране возача



граничну вредност силе кочења треба одредити из услова пута, а не на основу могућности кочионе механике

Динамички чиниоци:

- моменат кочења M_K (услед притиска папуче на кочиони добош, супротно од смера окретања точка)
- моменат силе отпора котрљању M_P (услед трења пнеуматика и коловоза , супротно од смера окретања точка)
- доведени моменат на точку M_T (инерциони моменат, негативан утицај на кочење)

облик диференцијалне једначине кочења за практичне анализе

$$-\frac{dv}{dt} = u = g \cdot (f_T + w_k \pm i_N) \quad [m/s^2]$$

- форсирано кочење-тренутно ангажовање силе кочења и max f_T и максимално коришћење до заустављања

накраћи пут кочења

$$L_{fk} = \frac{V^2}{26 \cdot u} = \frac{V^2}{254 \cdot (f_T + w_k \pm i_N)} \quad [m]$$

прва претпоставка је теоријске природе-постоји време прихватања кочнице које се додаје времену реакције возача-прелазни пут

друга претпоставка има за последицу да успорење прелази границе удобности вожње

може се прихватити као реакција у случају изненадне сметње-меродавно за утврђивање минималне прегледности на којој се темеље полазни услови за безбедност пута

- слободно кочење-омогућено је благовремено сагледавање потребе и психолошка припрема за коришћење кочнице

три фазе: постепен пораст успорења од 0 до одређене вредности u~2 m/s²; константно успорење; постепено опадање успорења до 0

пут кочења

$$L_{sk} = \frac{V^2}{26 \cdot u} + \frac{V \cdot u}{7{,}2 \cdot s_T} = \frac{V^2}{254 \cdot \left(f_T + w_k \pm i_N\right)} + \frac{1{,}36 \cdot V \cdot \left(f_T + w_k \pm i_N\right)}{s_T} \quad [m]$$

пут слободног кочења је скоро два пута дужи од пута форсираног кочења

може се прихватити као нормална реакција-меродавно за димензионисање елемената који зависе од слободне одлуке возача (прилази раскрсницама, приступ сервисним објектима, маневрисање због услова саобраћајног тока и сл)

- зауставни пут-пут који возило пређе од момента уочавања сметње до момента заустављања

пут слободне вожње + пут кочења

форсирано кочење-прорачун визуре прегледности у случају изненадне непокретне сметње

$$L_{zf} = \frac{t_r \cdot V}{3,6} + \frac{V^2}{254 \cdot \left(f_T + w_k \pm i_N\right)} \quad [m]$$

слободно кочење-прорачун визуре прегледности у случају планиране сметње са претходном најавом

$$L_{zs} = \frac{t_r \cdot V}{3,6} + \frac{V^2}{26 \cdot u} + \frac{V \cdot u}{7,2 \cdot s_T} \quad [m]$$

- стабилност возила у кривинама

  центрифугална сила $C=m\cdot V^2/R$

  радијалан смер дејства

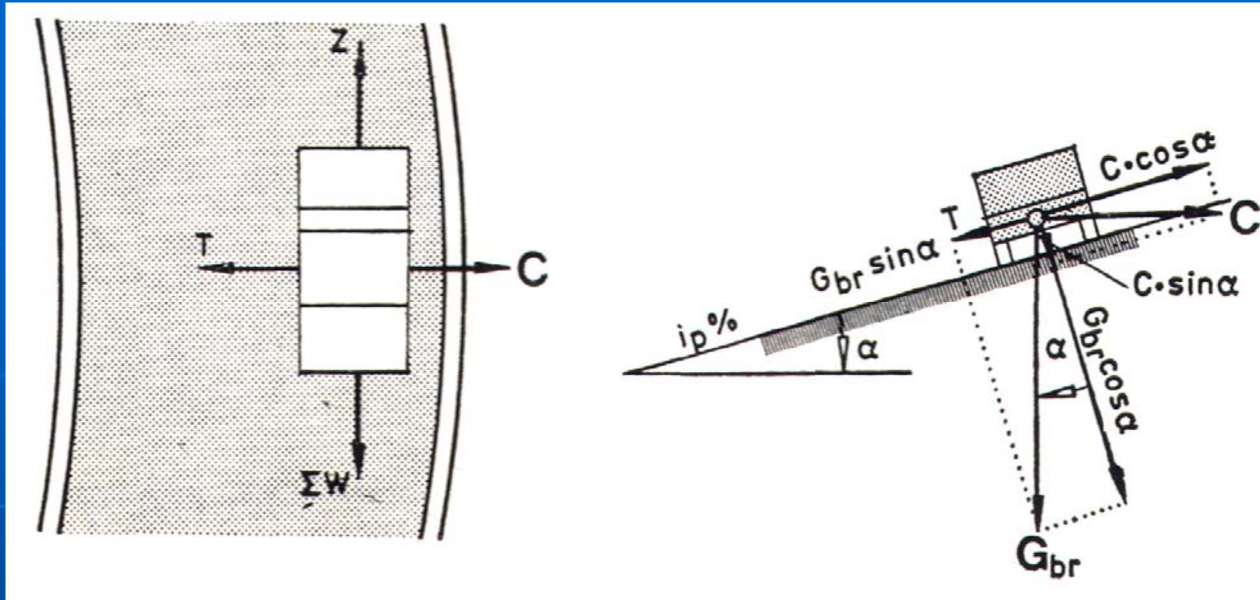
  хоризонталне кривине-хоризонталан смер силе, бочна сила која тежи да помери возило према спољњој страни кривине, путници осећају као бочни потисак

  вертикалне кривине-нормално на коловозну траку, вертикалан потисак који повећава или смањује гравитациону силу

  критична је бочна сила због неповољнијег утицаја на удобност вожње и стабилност возила

  хоризонталне кривине се димензионишу искључиво према утицајима центрифугалне силе

- стабилност на бочно склизавање



Распоред сила које делују на возило у кривини

центрифугалној сили се супротстављају попречни нагиб i_P (директно) и јединична сила трења f_R (компензује остатак силе)

јединична центрифугална сила $c=C/G_{br}=i_P+f_R$

$\Delta c=c-i_P$, бочни потисак

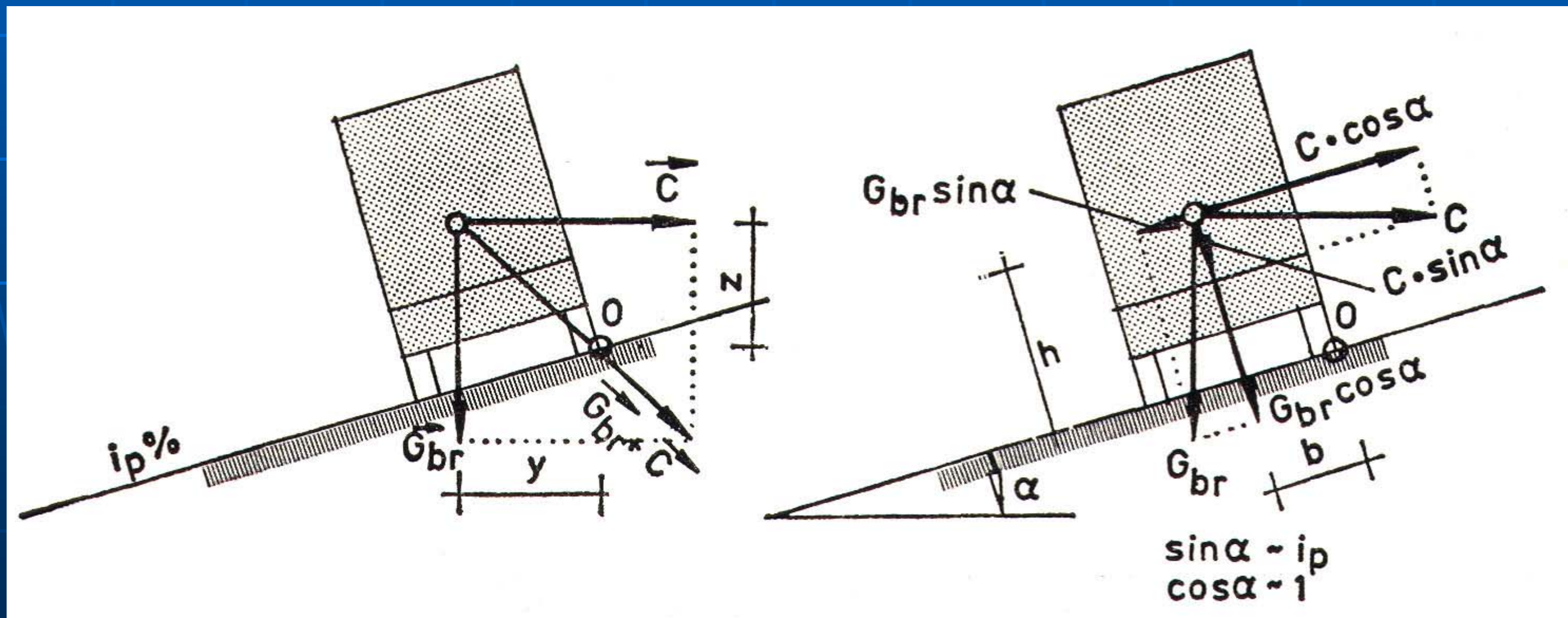
$\Delta c>\max f_R$ бочно клизање

основна једначина попречне стабилности

$$\frac{V^2}{g \cdot R} = i_P + f_R \quad \Rightarrow \quad R = \frac{V^2}{127 \cdot (i_P + f_R)} \quad [m]$$

- стабилност возила на претурање

претурање се јавља када резултанта сила C и G_{br} падне изван ослоначке тачке возила



Гранични услов стабилности возила на претурање и распоред сила у односу на обртну тачку

услов стабилности $C/G_{br} \leq y/z$

$$\frac{V^2}{127 \cdot R} \leq \frac{h \cdot i_P + b}{h - b \cdot i_P}$$

опасност постоји само код изразито високих и уских возила, а треба да буде остварена и веома висока вредност јединичне цетрифугалне силе

обично долази до исрпљења отпора на клизање пре него што се доведе у питање стабилност на претурање

услов бочног склизавања је меродаван за димензионисање кривина

провера стабилности се врши само за ванстандардне типове возила (двоспратни аутобуси, специјални транспортери)